第 38 卷第 2 期　　生　态　学　报　　Vol.38,No.2
2018 年 1 月　　ACTA ECOLOGICA SINICA　　Jan.,2018

DOI: 10.5846/stxb201610272194
崔爱花,杜传莉,黄国勤,王淑彬,赵其国.秸秆覆盖量对红壤旱地棉花生长及土壤温度的影响.生态学报,2018,38(2):733-740.
Cui A H, Du C L, Huang G Q, Wang S B, Zhao Q G.Effects of straw mulching amount on cotton growth and soil temperature in red soil drylands.Acta Ecologica Sinica,2018,38(2):733-740.

秸秆覆盖量对红壤旱地棉花生长及土壤温度的影响

崔爱花[1],杜传莉[1],黄国勤[1,*],王淑彬[1],赵其国[2]
1 江西农业大学生态科学研究中心, 南昌　330045
2 中国科学院南京土壤研究所, 南京　210008

摘要:为探索红壤旱地较适宜的秸秆覆盖量,采取随机区组大田试验,设置 4 个秸秆覆盖水平:S1 为 0 kg/hm^2、S2 为 4375 kg/hm^2,S3 为 8750 kg/hm^{2}和 S4 为 13125 kg/hm^2,研究秸秆覆盖量对红壤旱地棉花产量、出苗率、株高、叶绿素含量和土壤温度的影响。结果表明:秸秆覆盖处理(S2—S4)较不覆盖处理(S1),一是提高棉花出苗率,差异极显著($P<0.01$);二是影响棉花生育后期的主茎生长速度,以 S4 效果最好;三是可明显促进棉花叶绿素含量的增加,且以 S3 和 S4 的效果较好;四是调节土壤温度,在 8:00 和 20:00 提高土壤温度,在 14:00 降低土壤温度,且日均地温变化幅度小,但随着土层的加深,调温作用逐渐减弱,整个覆盖期内日均温的差值与土壤深度具有高度的相关性;五是显著增加棉花产量,S2、S3 和 S4 分别比 S1 高 11.4%、35.9%和 37.7%,差异极显著($P<0.01$),且随着覆盖量的增加,增产效果逐渐提高。综合来看,秸秆覆盖在改善红壤旱地棉花产量、出苗率、株高、叶绿素含量、调节土壤温度方面发挥着重要作用,且以 8750—13125 kg/hm^{2}效果显著,是红壤旱地值得推广的栽培模式。

关键词:秸秆覆盖量;红壤旱地;棉花生长;土壤温度

Effects of straw mulching amount on cotton growth and soil temperature in red soil drylands

CUI Aihua[1], DU Chuanli[1], HUANG Guoqin[1,*], WANG Shubin[1], ZHAO Qiguo[2]
1 *Research Center on Ecological Science, Jiangxi Agricultural University, Nanchang* 330045, *China*
2 *Nanjing Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing* 210008, *China*

Abstract: To improve the productivity of cotton fields in red soil drylands, it is necessary to study the yield-limiting factors in these regions, and propose appropriate mitigation measures. Straw mulching is an effective method of straw resource utilization, which could effectively promote the sustainable development of agriculture. To enhance our understanding of the appropriate straw mulching amount in red soil drylands, a randomized block design field experiment was carried out in the Science and Technology Park of Jiangxi Agricultural University (115°55′02.040″E, 28°46′04.476″N, original the Agricultural College Test Station). The effects of the following four straw mulch level treatments were examined: 0 kg/hm^2 (S1), 4 375 kg/hm^2(S2), 8 750 kg/hm^2(S3), and 13 125 kg/hm^2(S4). The present study mainly investigated the yield, emergence rate, plant height, and chlorophyll content of cotton, and also soil temperature. The following results were obtained. (1) Straw mulching treatments increased cotton seedling emergence by 21.5%—28.1%. The difference between mulching treatments (S2—S4) and the non-mulching treatment (S1) was significant at $P<0.01$, although there were no significant differences among the three mulching treatments. (2) Straw mulching treatments affected the main stem growth of

基金项目:江西省研究生创新专项资助项目(YC2016-B035);国家重点研发计划(2016YFD0300209)
收稿日期:2016-10-27;　　**修订日期**:2017-09-13
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: hgqjxauhgq@ sina.com

cotton at the late stage of growth, with treatment S4 having the best effect. (3) Straw mulching treatments also promoted an increase in chlorophyll content. Chlorophyll content in each growth period increased with an increase in the amount of straw mulching, with treatments S3 and S4 having the best effects. (4) Straw mulching treatments regulated the soil temperature. The soil temperature increased at 08:00 and 20:00, but decreased at 14:00, although the daily temperature range showed only a small variation. The effect of temperature control was weakened gradually in the straw mulching treatments with an increase in soil depth. This effect was highly correlated with daily mean temperature difference and soil depth during the coverage period, and the correlation coefficient reached 0.98 or higher, which aided in predicting the variation in diurnal temperature range of different soil layers. (5) Straw mulching treatments promoted a highly significant ($P<0.01$) increase in cotton production, with production in treatments S2, S3, and S4 being 11.4%, 35.9%, and 37.7% higher, respectively, than that in the non-mulching treatment (S1). There was also a gradual increase in yield with an increase in the amount of mulching. Collectively, these results indicate that straw mulching can play an important role in improving cotton yield, seedling emergence rate, plant height, and chlorophyll content, and also in regulating soil temperature in red soil drylands. In this regard, straw mulching at 8 750—13 125 kg/hm^2 was considerably effective, which would not only be conducive to the production of cotton but could also reduce environmental pollution caused by the burning of straw and improve the utilization of straw resources, and is thus worth popularizing in red soil drylands. However, since the present study was only of a short duration, further long-term studies in red soil drylands are required, particularly with regards to the mechanisms underlying the effects of mulching on the growth of cotton.

Key Words: straw mulch amount; red soil drylands; cotton growth; soil temperature

棉花(*Gossypium hirsutum* L.)是我国最主要的经济作物之一,在国民经济中占据重要地位[1-2],红壤是我国南方(特别是江西)的重要土壤类型。我国的稻米(*Oryza sativa linanaeus*)、棉花、茶叶(*Camellia sinensis*(L.) *O. Kuntze*)、桑叶(*Morus alba* L)、甘蔗(*Saccharum officenarum* L.)等产区均在红壤上获得长足的发展。红壤旱地是红壤的典型代表,占据较大的比例,但由于多种主要生产限制因子的存在,如酸、瘦、板、黏、旱等,使得红壤的生产潜力未得到发挥和挖掘[3-4],因此,要提高红壤旱地棉田的生产力,就必须研究红壤旱地产量提升的限制因子,提出解决的途径与方法。

我国平均每年生产的稻草量约有2亿t,近年来,农作物秸秆、残留物等资源浪费问题日趋严重,秸秆利用的现代技术手段滞后,造成在部分地区大量的农作物秸秆被焚烧,致使土壤肥力逐年降低,农田生态平衡被打破,严重危害农业生态环境[5-6]。聂安全等[7]研究表明,水热资源利用的同步协调性可提高水资源的利用率,使土壤环境改善、生产能力得以提高,是旱地农业增产的关键技术。利用秸秆覆盖技术不仅可以提高土壤肥力,而且可以抑制土壤水分蒸发,改善土壤供水状况,提高水分利用效率,最终提高作物产量[8],因而在当前乃至今后的农业生产上,秸秆覆盖是秸秆资源有效利用的方式之一,可有效地促进农业的可持续发展[9-12]。

近年来,有关学者就棉田秸秆覆盖在不同生态区域进行了研究,大多数研究表明秸秆覆盖可促进微生物活动而提高土壤养分含量,抑制土壤蒸发而提高水分利用率,稳定土壤温度和降低盐碱危害,提高棉花产量[13-19]。张金珠等[13]认为采用秸秆覆盖可调控0—30 cm深度土壤水分和盐分的变化,抑制土壤盐分上移。刘冬青等[14-15]认为秸秆覆盖不仅可以提高土壤肥力,而且提高了棉花生长中后期的叶面积指数,使得叶片功能期延长,光合效率提高,棉花早衰速度减缓和铃重增加,因而提高了棉花产量。黄国勤等[16]认为秸秆覆盖可使土壤温度日较差降低,土壤养分含量提高,在棉花叶绿素含量、株高以及生育进程等方面占据优势,是红壤旱地值得推广的种植模式。贺欢等[17]研究认为秸秆覆盖可降低土壤温度、温度最大日变幅与深度具有很好的相关性,但对主茎高度的影响不明显。冯国艺等[18]认为免耕条件下地膜与秸秆复合覆盖方式显著影响滨海盐碱地0—40 cm土层土壤水分和盐分的运移,从而提高棉花的光合特性和生长发育。董志勇等[19]认为秸秆覆盖可增加棉花苗期和蕾期的土壤含水量,具有白天降温、夜间保温的作用,而促进棉花果枝层数、单铃

重和籽棉产量的增加。这些前人研究只是其在特定区域条件下的研究结果,且对秸秆合理覆盖量或覆盖厚度的界定研究较少,因此,作者于 2008—2010 年在具有典型南方红壤特点的昌北地区设置棉田秸秆覆盖定位试验,通过田间定位试验,主要探讨秸秆覆盖量对红壤旱地棉花生长及土壤温度的影响,旨在促进红壤旱地农田生态系统生产力和综合效益的大幅提高。

1　试验地概况

试验在具有典型南方红壤特点的江西农业大学科技园(115°55′ 02.040″ E,28°46′04.476 ″N 原农学院试验站)进行。土壤为红壤性土亚类,年平均日照时数为 1559.9 h,年平均日照总辐射 102.55 kJ/cm^2,无霜期大约 269 d,年均降雨量 1658.9 mm,年均温度 16.5 ℃,≥10 ℃活动积温为 5521 ℃。试验地为低岗地,无灌溉条件。试验实施前进行翻耕平整,并取样测定土壤肥力和理化性状。试验初始土壤性状是:土壤容重为 1.304 g/cm^3,总孔隙度为 52.98%,毛管孔隙度为 41.55%,有机质为 29.78 g/kg,全氮为 1.34 g/kg,碱解氮为 90.00 mg/kg,全磷为 1.18 g/kg,有效磷为 76.35 mg/kg,全钾为 55.38 g/kg,速效钾为 107.5 mg/kg,pH 值为 4.75。

2　研究方法

2.1　试验设计

试验设秸秆覆盖量 4 个水平:水平 1(S1)为不覆盖(CK),水平 2(S2)为覆盖粉碎稻草 4 375 kg/hm^2,水平 3(S3)为覆盖粉碎稻草 8 750 kg/hm^2,水平 4(S4)为覆盖粉碎稻草 13 125 kg/hm^2。将水稻秸秆自然风干后,用秸秆还田粉碎机粉碎,粉碎长度约 200 mm。每处理重复 4 次,共 16 个小区,随机区组排列,小区长 4 m,宽 3 m,面积为 12 m^2。覆盖分两次进行:第一次在棉花播种后覆盖,用 40%的量覆盖在畦面,第二次在棉花起垄后,用 60%的量再覆盖在上面。

供试品种为国审鄂棉 20,于 4 月 25 日开沟穴播,每穴播 3—4 粒,行距和株距分别为 100 cm 和 40 cm。试验施钙镁磷肥 375 kg/hm^2、氯化钾 225 kg/hm^2、尿素 450 kg/hm^2,钙镁磷肥全作基肥,氯化钾和尿素按基肥、苗肥和花铃肥各占 30%、30%和 40%施用。其他管理措施同当地大田管理。

2.2　测定项目及方法

每小区定点 10 株,分别于 6 月 15 日、6 月 26 日、7 月 8 日、7 月 18 日、7 月 28 日、8 月 16 日和 9 月 15 日共 7 次测定棉花株高;于 9 月 15 日调查棉花的单株成铃,取平均值。

每小区随机选 5 株棉花,每株取倒 4 叶,分别于棉花苗期、蕾期、花铃期和吐絮期,用 SPAD502 仪测定相对叶绿素含量,取平均值。

按每小区实际收获的棉花量来计产;于棉花吐絮期,每小区选取棉株中部 30 铃,进行室内考种,测定单铃重和衣分。

在棉花进入苗期、蕾期、花铃期和吐絮期的第 2—4 d 分不同时间点测定不同土层的土壤温度,于测定日的 8:00、14:00 和 20:00 测定 0—5 cm、5—10 cm、10—15 cm、15—20 cm 土层温度,最终数据取 3 d 平均值。在开始测定前 1 天埋下土壤地温计,使其适应土壤温度。

2.3　统计方法

连续 3 年试验测定数据趋势一致,本文以 2010 年测定数据为例。采用 Microsoft Excel 2007 进行原始数据整理,利用 SPSS 17.0 统计软件进行方差分析和差异显著性比较。

3　结果与分析

3.1　不同秸秆覆盖量对棉花产量及产量构成的影响

将 2009 年、2010 年和 2011 年各试验处理的产量和产量构成数据列于表 1,由表 1 可知,稻草覆盖处理可增加棉花产量,2009 年 S2、S3 和 S4 的籽棉产量分别比 S1 高 13.0%、47.1%和 49.8%,2010 年 S2、S3 和 S4 分

别比 S1 高 11.4%、35.9%和 37.7%，2011 年 S2、S3 和 S4 分别比 S1 高 18.6%、37.6%和 43.0%，覆盖处理极显著高于不覆盖处理($P<0.01$)，且在本试验的用量范围内随着覆盖量的增加，增产幅度提高，S3 和 S4 之间差异不显著，但它们均极显著高于 S2($P<0.01$)；铃数与籽棉产量的趋势一致，2009 年不同覆盖处理 S2、S3 和 S4 铃数分别较 S1 增加 11.5%、60.4%和 66.1%，2010 年 S2、S3 和 S4 较 S1 增加 32.8%、79.3%和 84.0%，2011 年，S2、S3 和 S4 分别较 S1 增加 21.8%、69.4%和 73.4%，均极显著高于 S1($P<0.01$)；年际间各处理产量之间差异不明显，保持较好的稳定性；秸秆覆盖量对铃重和衣分两个主要产量性状的作用不明显，各处理之间差异均未达到显著水平。

表 1 不同秸秆覆盖量对棉花产量及其构成因素的影响

Table 1 Effects of different straw mulching quantity on yield and components of cotton

年份 Years	处理 Treatments	籽棉产量 Seed cotton yield/(kg/hm²)	较 CK 增产 Increased than CK		产量构成因素 Components of yield		
			量/(kg/hm²)	率/%	铃数 Number of boll/(10^4no/hm²)	铃重 Boll weight/g	衣分 Lint/%
2009	S1(CK)	2025.4 cC	0.0	0.0	36.6 cC	4.5 aA	39.2 aA
	S2	2289.3 bB	263.9	13.0	40.8 bB	4.9 aA	40.0 aA
	S3	2977.7 aA	952.3	47.1	58.7 aA	5.0 aA	39.3 aA
	S4	3033.2 aA	1007.8	49.8	60.8 aA	5.1 aA	40.3 aA
2010	S1(CK)	2210.8 cC	0.0	0.0	33.8 cC	4.6 aA	39.0 aA
	S2	2463.5 bB	252.7	11.4	44.9 bB	4.7 aA	39.1 aA
	S3	3004.5 aA	793.7	35.9	60.6 aA	4.9 aA	40.6 aA
	S4	3044.2 aA	833.4	37.7	62.2 aA	5.0 aA	40.6 aA
2011	S1(CK)	2168.6 cC	0.0	0.0	35.3 cC	4.6 aA	39.1 aA
	S2	2572.8 bB	404.2	18.6	43.0 bB	4.8 aA	39.6 aA
	S3	2983.7 aA	815.1	37.6	59.8 aA	5.1 aA	40.0 aA
	S4	3100.7 aA	932.7	43.0	61.2 aA	5.1 aA	40.5 aA

同列数据后大写字母表示 1%的显著水平，小写字母表示 5%的显著水平

3.2 不同秸秆覆盖量对棉花出苗率和株高的影响

将各处理调查的出苗率和株高平均值列于表 2，经方差分析结果表明，秸秆覆盖的 S2、S3 和 S4 处理的出苗率分别较 S1 高 21.5%，28.1%和 24.1%，S2、S3 和 S4 与 S1 之间存在极显著差异($P<0.01$)；而 S2、S3 和 S4 之间差异不显著。由于覆盖改变了土壤性状(如板结)，影响了来年的棉花出苗，因而覆盖较不覆盖可明显提高棉花出苗率，但不表现出随着覆盖量增加出苗率更好，本试验以 S3 较好，对覆盖量多的 S4 处理出苗率反而低于 S3 的原因有待于进一步研究。

从表 2 可以看出，随着调查时间的延后或生育进程的推进，各处理株高呈不断增加的趋势，在 9 月 15 日达到最高值。6 月 15 日稻草覆盖 S4 处理的株高极显著($P<0.01$)高于不覆盖 S1 处理，高 25.7%，虽然 S2、S3 处理的株高也高于 S1，但差异不显著。时至 6 月 26 日和 7 月 8 日，高覆盖量的 S4 处理也极显著($P<0.01$)高于 S2 和 S3 处理，分别 42.4%和 44.7%，45.4%和 42.4%，但 S1 处理的株高增长很快，反而高于 S2 和 S3 处理，且 S4 与 S1 之间差异不显著；7 月 18 日各处理之间株高的差异均不明显；7 月 28 日，S4 的株高极显著($P<0.01$)高于 S1 和 S2，但其与 S3 之间差异不显著；8 月 16 日和 9 月 15 日，S4 的株高显著($P<0.05$)高于 S1 和 S2，还是与 S3 之间差异不显著。这说明秸秆覆盖具有调节土壤温度的作用，使棉株生长受温度的抑制作用小，而株高生长较快，且以覆盖量多的处理对促进主茎生长具有较明显的优势。

3.3 不同秸秆覆盖量对棉花叶绿素含量(SPAD)的影响

对各处理棉花不同生育时期的主茎倒四叶的叶绿素含量测定结果列于表 3，从中可以看出，不同生育期之间，各处理均是随着生育时期的推进呈逐渐上升趋势，在花铃期达到峰值，吐絮期叶片逐渐衰老，叶绿素含量也所下降，但 S4 处理一直没有下降；不同覆盖量之间，4 个生育时期均是随着稻草秸秆覆盖量的增多而增

加,且在花铃期覆盖处理与不覆盖处理间存在极显著差异(P<0.01),吐絮期覆盖处理与不覆盖处理间存在显著差异(P<0.05)。通过以上分析得出:稻草覆盖量在 13 125 kg/hm^{2}可明显促进苗期、花铃期和吐絮期棉花叶绿素含量的增加;覆盖量在 8 750 和 13 125 kg/hm^{2}时对花铃期棉花叶绿素含量有较大提升,有利于棉株光合效率的提升和棉花产量的增加。

表 2　不同秸秆覆盖量对棉花出苗率和株高的影响

Table 2　Effects of different straw mulching quantity on the emergence rate and plant height of cotton

处理 Treatment	出苗率 Emergence rate /%	株高 Plant height/cm						
		6 月 15 日	6 月 26 日	7 月 8 日	7 月 18 日	7 月 28 日	8 月 16 日	9 月 15 日
S1(CK)	61.9bB	12.6bB	22.9abAB	34.5abA	47.0aA	47.8bB	59.8bA	67.6cB
S2	75.2aAB	13.4bB	19.1bB	28.4bA	39.3aA	51.4bB	58.3bA	72.4bcB
S3	79.3aA	12.7bB	18.8bB	29.0bA	43.0aA	58.4bAB	63.8abA	83.4bAB
S4	76.8aA	17.1aA	27.2aA	41.3aA	50.9aA	74.9aA	75.0aA	96.8aA

表 3　不同秸秆覆盖量对棉花叶绿素含量(SPAD)的影响

Table 3　Effects of different straw mulching quantity on the chlorophyll content of cotton

处理 Treatments	苗期 Seedling stage	蕾期 Bud stage	花铃期 Flowering and bolling forming stage	吐絮期 Boll opening stage
S1(CK)	30.0bB	33.2aA	36.5bB	36.0bA
S2	29.7bB	33.2aA	37.3bA	37.4abA
S3	31.6bB	33.9aA	40.1aA	39.3abA
S4	36.1aA	34.7aA	40.9aA	41.4aA

3.4　不同秸秆覆盖量对土壤温度的影响

由表 4 可知,苗期 0—5 cm 土层,8:00 除 S4 与对照(S1)相当外,S2 和 S3 地温较 S1 均提高 0.5 ℃,而 14:00 S2、S3 和 S4 较 S1 地温降低了 2.8 ℃、3.5 ℃和 6.5 ℃,在 20:00,S2、S3 和 S4 的降温幅度在 1.4—4.2 ℃,较 S1 低 2.5 ℃—5.3 ℃。花铃期 0—5 cm 土层, S2、S3 和 S4 在 8:00 地温均高于 S1,分别比 S1 高 0.9 ℃、1.0 ℃和 1.1 ℃,而 14:00,除 S2 高于 S1 0.3 ℃外,S3 和 S4 分别比 S1 低 2.2 ℃和 3.3 ℃,20:00,除 S2 外,S3 和 S4 降温幅度较 S1 低 1.6 ℃和 2.5 ℃。吐絮期,0—5 cm 土层,8:00 秸秆覆盖处理较 S1 提高 0.9—1.5 ℃,14:00 除 S2 高于 S1 1 ℃,S3 和 S4 分别较 S1 低 0.9 ℃和 1.1 ℃,而 20:00 除 S2 外,S3 和 S4 降温幅度较 S1 降低 1.7—2.1 ℃。此外,秸秆覆盖各处理的地温日较差与覆盖量成反比,苗期 0—5 cm,变化幅度为 4.5—7.7 ℃,较 S1 低 3.3—6.5 ℃,降低幅度为 30.0%—59.1%,差异极显著(P<0.01);花铃期 0—5 cm 的日地温变化幅度为 5.0—8.6 ℃,较 S1 低 0.7—4.3 ℃,降低幅度为 7.5%—46.2%,差异显著(P<0.05);吐絮期 0—5 cm 的日地温变化幅度为 3.6—6.0 ℃,较 S1 低 0.1—2.5 ℃,降低幅度为 1.6%—41.0%,差异显著(P<0.05)。

随着土层深度的增加,秸秆覆盖处理的调温作用有逐渐减弱的趋势。苗期 5—10 cm 土层,秸秆覆盖处理的地温日较差较 S1 低 2.4—5.4 ℃,降低幅度为 29.3%—65.9%;而在 10—15 cm 土层覆盖较 S1 低 2.1—3.5 ℃,降低幅度为 36.2%—60.3%;在 15—20 cm 土层日较差较 S1 低 1.7—2.4 ℃,降低幅度为 38.6%—54.5%。花铃期,5—10 cm 土层,秸秆覆盖处理的地温日较差较 S1 低 2.2—4.2 ℃,降低幅度为 27.2%—51.9%;而在 10—15 cm 土层覆盖较 S1 低 1.2—2.1 ℃,降低幅度为 25.0%—43.8%;在 15—20cm 土层日较差较 S1 低仅 0.8—1.6 ℃,降低幅度为 21.6%—43.2%。吐絮期 5—10 cm 土层,秸秆覆盖处理的地温日较差较 S1 低 1.2—2.4 ℃,降低幅度为 24.5%—44.9%;而在 10—15 cm 土层覆盖较 S1 低 0.7—1.0 ℃,降低幅度为 24.1%—34.5%;在 15—20cm 土层日较差较 S1 低仅 0.3—0.6 ℃,降低幅度为 14.3%—28.6%。将 3 个生育时期土壤温度日较差的平均值与土壤深度拟合为二次多项式形式(表 5),相关系数均达到 0.9828 以上。

表 4 不同秸秆覆盖量对不同时间不同土层深度地温的影响/℃

Table 4 Effect of different straw mulching quantity on soil temperature in different growing periods and at different soil depths

土层深度 Soil depth/cm	处理 Treatment	苗蕾期 Seedling and bud stage				花铃期 Flowering and bolling forming stage				吐絮期 Boll opening stage			
		8:00	14:00	20:00	日较差 Daily range	8:00	14:00	20:00	日较差 Daily range	8:00	14:00	20:00	日较差 Daily range
0—5	S1(CK)	21.6	32.6	25.9	11.0aA	29.5	38.8	33.9	9.3aA	21.8	28.0	24.5	6.1aA
	S2	22.1	29.8	25.6	7.7abAB	30.4	39.1	33.6	8.6aA	23.0	29.0	25.4	6.0abA
	S3	22.1	29.1	25.3	7.0abAB	30.5	36.6	33.3	6.1bAB	22.7	27.1	25.3	4.4bA
	S4	21.6	26.1	24.7	4.5bB	30.6	35.6	33.2	5.0bAB	23.3	26.9	25.5	3.6bA
5—10	S1(CK)	21.5	29.7	27.6	8.2aA	29.4	37.5	34.8	8.1aA	22.2	27.1	25.2	4.9aA
	S2	22.5	28.3	27.1	5.8bA	30.9	36.8	34.6	5.9bAB	23.6	27.3	26.8	3.7abA
	S3	21.3	26.0	23.2	4.7bB	29.3	33.3	32.7	4.0bB	22.4	24.8	24.9	2.5bA
	S4	21.3	24.1	24.0	2.8cB	29.9	33.9	32.5	3.9bB	23.0	25.5	25.5	2.5bA
10—15	S1(CK)	21.7	27.0	27.5	5.8aA	29.9	34.6	34.3	4.8aA	23.1	26.0	25.5	2.9aA
	S2	22.1	25.3	25.8	3.7bB	30.8	34.4	34.3	3.6abA	23.4	26.1	26.0	2.8aA
	S3	20.6	23.6	24.2	3.6bB	29.4	32.5	32.5	3.1bA	22.2	24.0	24.4	2.2aA
	S4	21.2	22.9	23.5	2.3cC	29.3	32.0	31.7	2.7bA	23.1	24.6	24.9	1.9aA
15—20	S1(CK)	22.2	25.2	26.6	4.4aA	30.4	32.8	34.1	3.7aA	23.5	25.1	25.6	2.1aA
	S2	23.2	24.9	25.9	2.7bB	31.0	33.3	33.9	2.9bB	24.6	26.0	26.3	1.8abA
	S3	22.6	24.0	25.1	2.5bB	30.9	32.4	33.2	2.3bcB	24.2	25.3	25.7	1.6abA
	S4	22.0	23.1	24.0	2.0bB	30.1	31.4	32.1	2.1cB	24.1	25.1	25.6	1.5bA

表 5 不同深度土层土壤温度变化特征

Table 5 Soil temperature change at different depths

处理 Treatment	土壤深度 Soil depths/cm				拟合多项式回归公式 Fitting polynomial regression formula	相关系数 The relative ratio
	5	10	15	20		
S1(CK)	8.8	7.1	4.5	3.4	$y=0.006x^2-0.526x+11.40$	$R^2=0.9840$
S2	7.4	5.1	3.4	2.5	$y=0.014x^2-0.678x+10.45$	$R^2=0.9999$
S3	5.8	3.7	3.0	2.1	$y=0.012x^2-0.536x+8.10$	$R^2=0.9828$
S4	4.4	3.1	2.3	1.9	$y=0.009x^2-0.391x+6.13$	$R^2=0.9999$

4 讨论

郑曙峰等[20]研究认为,秸秆覆盖的降温作用,可减少高温胁迫对棉花生长的抑制作用,长势优于对照;马宗斌等[21]研究认为,秸秆覆盖可促进夏棉主茎的生长,有利于夏棉在较短的时期内搭起丰产的架子;贺欢等[17]认为秸秆覆盖在棉花生长发育过程中并不能有效促进棉花主茎的生长,前期尤为明显,故秸秆覆盖不宜在棉花生长前期进行。本研究也有类似的结论,7 月 18 日之前,除 6 月 15 日外,秸秆覆盖各处理的株高较对照差异不显著,但 7 月 28 日之后,株高增长较快,且覆盖量多的处理对促进主茎生长具有较明显的优势。

郑曙峰等[22]、王翠玉等[23]研究认为棉田秸秆覆盖可以促进棉苗早发,提高出苗率,增加单株成铃,最终使棉花增产。张向前等[24]在玉米田秸秆覆盖研究认为,秸秆覆盖虽可增加玉米的产量,但覆盖量不宜过多,否则增产效益不大。本研究发现,秸秆覆盖各处理的出苗率均高于对照,平均较对照高 24.6%,但覆盖量的多少对出苗率影响没有明显的趋势;随着稻草覆盖量的增加棉花铃数也随之增加,从而提高棉花产量,但覆盖量高到 8750 kg/hm^{2}以后,增产幅度不会再增加,秸秆量为 8750—13125 kg/hm^{2}的增产效果最为显著,且连续 3 年的数据表明,稻草覆盖各处理年际间产量差异不显著,表明了秸秆覆盖的稳产优势。

秦鸿德等[25]和李银平等[26]指出,叶绿素是叶片光合作用的主要物质基础,也是叶片功能持续期长短的

重要标志。叶绿素含量高在一定程度上能使叶片光合速率得到改善,继而使作物产量进一步提高[16,27]。黄国勤等[14]研究指出,红壤旱地棉田秸秆覆盖与不覆盖处理的叶绿素含量均呈先上升后下降的趋势;张向前等[28]认为,适宜的秸秆覆盖量可显著增加玉米叶绿素含量,但当秸秆覆盖水平增加到一定程度,不同秸秆覆盖量之间差异不再明显。本研究结论与前人观点相似:各处理棉花主茎倒四叶片叶绿素含量在苗期—花铃期呈上升的趋势,而在花铃期—吐絮期逐渐下降;各生育时期的叶绿素含量随着稻草秸秆覆盖量的增多而增加,覆盖量在 8 750 和 13125 kg/hm^{2}效果较好。

地表是大气与土壤热量交换的界面,地表温度的高低直接受气温变化的影响[29]。土壤是根系的重要生长环境,土壤温度影响着根系对水分、空气、矿物质等元素的吸收,是植物生长发育过程中不可缺少的重要生态因子之一[30],土壤空气和土壤水分也与土壤温度有密切相关。黄国勤等[16]认为棉田使用秸秆覆盖可有效降低日极端高温,且降低幅度随外界温度降低有所减缓,起到增温保墒、抵御夏季高温胁迫作用。苏伟等[31]和杨滨娟等[32]研究表明,秸秆覆盖可有效调节地温,且调温作用随着土层深度的增加呈现逐渐减弱的趋势。梁欢等[17]研究得出土壤深度与不同层次土壤温度的最大变幅呈对数函数形式,且具有较高的相关性。本试验结果与以上结论基本一致,8:00 外界气温较低,秸秆覆盖后较对照地温有所提升,14:00,秸秆覆盖处理地温较对照有所降低,20:00 外界气温逐渐降低,秸秆覆盖处理较对照降低幅度有所减缓,且 S3 和 S4 处理表现较好;从地温日较差分析可以看出,秸秆覆盖处理的日地温变换幅度均低于对照处理,差异显著;地温日较差随覆盖量的增加而降低;随着土层深度的增加,秸秆覆盖地温日较差与对照差距逐渐减少,调温作用逐渐减弱;将苗蕾期、花铃期和吐絮期土壤温度日较差的平均值与土壤深度拟合为二次多项式函数形式,相关系数达到 0.98 以上,这对预测耕作层不同土层温度日变幅很有帮助。

5　结论

本研究认为,秸秆覆盖与不覆盖相比,对于提高棉花出苗率、提高主茎生长速度、叶绿素含量及合理调节土壤温度方面有较好的促进作用。一是秸秆覆盖各处理的出苗率均极显著($P<0.01$)高于对照;二是秸秆覆盖处理在覆盖期内具有调节地温作用,在 8:00 和 20:00 提高土壤表面温度,在 14:00 降低土壤表面温度,使棉株生长受高温或低温胁迫小,从而增加株高优势明显,但随着土层深度的增加,秸秆覆盖处理的调温作用逐渐减弱;三是生育时期稻草覆盖处理的叶绿素含量较对照均有所增加,且与覆盖量的多少成正比,但蕾期不明显;四是秸秆覆盖处理可显著增加棉花产量,且增产幅度随覆盖量的增加而提高。综合来看,将水稻收获后的秸秆,粉碎成约 200 mm 长的秸段分两次均匀覆盖在红壤旱地棉花地块,秸秆覆盖量在 8 750—13 125 kg/hm^{2}既有利于棉花生产,又能减少秸秆焚烧带来的环境污染、提高资源利用率,是红壤旱地棉田值得推广的栽培措施,但此研究时间较短,应加强在红壤旱地的长期定位试验研究,尤其是覆盖种植对棉花生长动态的影响机制方面进行全面、深入研究。

参考文献(References):

[1] 王子胜, 徐敏, 张国伟, 金路路, 单莹, 吴晓东, 周治国. 施氮量和种植密度对东北特早熟棉区棉花生物量和氮素累积的影响. 应用生态学报, 2011, 22(12): 3243-3251.
[2] 刘洋, 李亚雄, 李斌, 王涛. 我国棉花加工机械关键技术的专利分析. 新疆农机化, 2015(3): 41-43.
[3] 中国科学院南京土壤研究所. 中国土壤. 北京: 科学出版社, 1978.
[4] 赵其国. 红壤物质循环及其调控. 北京: 科学出版社, 2002: 20.
[5] 杨文钰, 王兰英. 作物秸秆还田的现状与展望. 四川农业大学学报, 1999, 17(2): 211-216.
[6] 杨滨娟, 钱海燕, 黄国勤, 樊哲文, 方豫. 秸秆还田及其研究进展. 农学学报, 2012, 2(5): 1-4, 28.
[7] 聂安全, 赵海祯, 齐宏立, 籍增顺, 刘建华. 覆盖补水施肥对旱地小麦产量的影响. 华北农学报, 2001, 16(1): 92-98.
[8] 王兆伟, 郝卫平, 龚道枝, 梅旭荣, 王春堂. 秸秆覆盖量对农田土壤水分和温度动态的影响. 中国农业气象, 2010, 31(2): 244-250.
[9] 韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 胡金有. 中国农作物秸秆资源及其利用现状. 农业工程学报, 2002, 18(3): 87-91.
[10] 李安宁, 范学民, 吴传云, 李洪文. 保护性耕作现状及发展趋势. 农业机械学报, 2006, 37(10): 177-180, 111.

[11] 秦红灵, 高旺盛, 李春阳. 北方农牧交错带免耕对农田耕层土壤温度的影响. 农业工程学报, 2007, 23(1): 40-47.
[12] 杜新艳, 杨路华, 脱云飞, 高惠嫣, 张振伟. 秸秆覆盖对夏玉米农田水分状况、土壤温度及生长发育的影响. 南水北调与水利科技, 2006, 4(2): 24-26.
[13] 张金珠, 虎胆·吐马尔白, 王振华, 王一民, 弋朋飞, 吴争光. 不同深度秸秆覆盖对滴灌棉田土壤水盐运移的影响. 灌溉排水学报, 2012, 31(3): 37-41.
[14] 刘冬青, 辛淑荣, 张世贵. 不同覆盖方式对旱地棉田土壤环境及棉花产量的影响. 干旱地区农业研究, 2003, 21(2): 18-21.
[15] 刘冬青, 张世贵, 李素英. 山东棉花覆盖栽培的节水增产效应研究. 棉花学报, 2003, 15(4): 201-204.
[16] 黄国勤, 贺娟芬, 王翠玉, 王开磊, 杜传莉. 红壤旱地棉田覆盖种植对棉花生长和农田环境的影响. 中国农学通报, 2010, 26(7): 336-342.
[17] 贺欢, 田长彦, 王林霞. 不同覆盖方式对新疆棉田土壤温度和水分的影响. 干旱区研究, 2009, 26(6): 826-831.
[18] 冯国艺, 张谦, 祁虹, 王树林, 李智峰, 王志忠, 林永增. 滨海盐碱地免耕条件下覆盖方式对棉苗光合特性及生长的影响. 河北农业大学学报, 2014, 37(3): 13-18.
[19] 董志勇, 钱炳法. 棉田秸秆覆盖试验研究. 浙江工业大学学报, 2003, 31(1): 12-15.
[20] 郑曙峰, 王维, 徐道青, 屈磊. 覆盖免耕对棉田土壤物理性质及棉花生理特性的影响. 中国农学通报, 2011, 27(7): 83-87.
[21] 马宗斌, 李伶俐, 房卫平, 谢德意, 杨铁刚. 麦秸覆盖对土壤温湿度变化和夏棉生长发育的影响. 河南农业大学学报, 2004, 38(4): 379-383.
[22] 郑曙峰, 唐胜, 袁向方, 许新华, 王跃群, 张军. 江淮丘陵易旱地区棉花抗旱节水高效栽培技术. 安徽农业科学, 2000, 28(3): 301-302.
[23] 王翠玉. 红壤旱地棉田间作与覆盖的生态经济效益研究及评价[D]. 南昌: 江西农业大学, 2009.
[24] 张向前, 黄国勤, 赵其国. 间作条件下秸秆覆盖对玉米叶片光合特性和产量的影响. 中国生态农业学报, 2014, 22(4): 414-421.
[25] 秦鸿德, 张天真. 棉花叶绿素含量和光合速率的 QTL 定位. 棉花学报, 2008, 20(5): 394-398.
[26] 李银平, 林忠东, 李小斌, 徐文修, 王亭, 杨涛, 侯松山, 韩晶垒, 侯猛. 北疆连作棉田轮作倒茬模式的研究. 干旱地区农业研究, 2010, 28(1): 243-246, 154-154.
[27] 张巨松, 林永猛. 棉花叶片叶绿素含量消长动态的分析. 新疆农业大学学报, 2002, 25(3): 7-9.
[28] 张向前, 钱益亮. 秸秆覆盖对玉米生长、光合及产量的影响. 华北农学报, 2015, 30(4): 174-180.
[29] 陈继康, 李素娟, 张宇, 陈阜, 张海林. 不同耕作方式麦田土壤温度及其对气温的响应特征——土壤温度日变化及其对气温的响应. 中国农业科学, 2009, 42(7): 2592-2600.
[30] 易建华, 贾志红, 孙在军. 不同根系土壤温度对烤烟生理生态的影响. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 62-66.
[31] 苏伟, 鲁建巍, 周广生, 李小坤, 李云春, 刘晓伟. 稻草还田对油菜生长、土壤温度及湿度的影响. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2): 366-373.
[32] 杨滨娟, 黄国勤, 钱海燕. 秸秆还田配施化肥对土壤温度、根际微生物及酶活性的影响. 土壤学报, 2014, 51(1): 150-157.